



# Restauración

Definición de restauración  
Restauración de dunas costeras  
¿Cuándo y dónde es necesario realizar actividades de restauración en sistemas dunares?  
Costos de la restauración  
Prácticas de manejo



Foto: Gerardo Sánchez Vigil

Debora Lithgow  
Ma. Luisa Martínez  
Patricia Moreno-Casasola  
Ileana Espejel  
Dulce Infante Mata  
Óscar Jiménez-Orocio

## Definición de restauración

La restauración ecológica se enfoca en reparar ecosistemas degradados; es decir sistemas naturales que experimentan una modificación en su estructura que les impide funcionar adecuadamente. La degradación puede ser consecuencia de perturbaciones naturales extremadamente intensas o de alteraciones producidas por las actividades humanas y tiene como resultado que se debilite la integridad, funcionamiento y capacidad de auto-regeneración de los ecosistemas (Sánchez, 2005). De acuerdo con la intensidad y el tipo de degradación, los ecosistemas pueden recuperarse total (restauración) o parcialmente (rehabilitación). La meta principal de la restauración es tratar de revertir los procesos de deterioro de origen humano y ocasionalmente, de origen natural, cuando el disturbio fue extremadamente intenso.

De acuerdo con la Sociedad para la Restauración Ecológica (SER, por su nombre en inglés), la restauración se refiere a una actividad deliberada que inicia o acelera la recuperación de un ecosistema. Estas acciones están dirigidas hacia la recuperación de la salud, la integridad y la sostenibilidad del ecosistema. La salud abarca los procesos como el ciclo hidrológico o los de nutrientes; la integridad a la composición de especies y la estructura de la comunidad; mientras que la sostenibilidad se refiere a la resistencia a los disturbios y la capacidad de recuperación después de ellos (SER, 2004).

Es importante mencionar que en México no se ha hecho ningún proyecto de restauración de dunas costeras, propiamente dicho. Se han rehabilitado playas (por ejemplo al rellenar de arena las playas de Cancún), se ha recuperado su forma y revegetado, se han reforestado (con especies exóticas o con unas cuantas especies nativas de fácil crecimiento), pero no existen casos que relatar de restauración en dunas donde se recupere su estado previo al disturbio, aunque sí hay sitios que requieren este tipo de acciones.

## Restauración de dunas costeras

La restauración del sistema playa-duna se refiere a aquellas labores realizadas tras su degradación y que tienen como fin reconstruir, recuperar y mantener la integridad ecológica (biodiversidad, procesos y funciones) propia de estos ambientes. Dado que el sistema playa-duna es muy dinámico y complejo, no siempre se logra una recuperación total, pero algunos de los atributos y servicios pueden quedar restablecidos.

La restauración de un sistema dunar puede ser de dos tipos: pasiva o activa. La restauración pasiva requiere poca intervención humana y se basa en permitir que el sistema dunar se recupere por medio de sus procesos naturales una vez que la fuente del disturbio fue eliminada. Por ejemplo, muchas veces después de un huracán, las dunas y su vegetación quedan destruidas, sin embargo esto es parte de su dinámica natural. Las

plantas están adaptadas a ello y se recuperan solas. En estas ocasiones, sólo es importante cuidar que no haya incendios, ya que la hojarasca que las cubre puede incendiarse ocasionando otro tipo de daños, como quemar las semillas del suelo que posteriormente van a germinar y que conforman la fuente de la regeneración natural. Si se va a dejar que la vegetación se recupere sola, únicamente es necesario señalar que el terreno está en una fase de regeneración natural. No se necesita riego ni fertilizantes. Las plantas crecerán solas y emergerán de la arena en unos cuantas semanas. Si había palmares de coco, a veces con los vientos fuertes se caen las hojas y cubren la arena. Si eso sucediera, es necesario quitar esas hojas para permitir que las plantas de las dunas embrionarias tengan acceso a la luz del sol, la cual necesitan para su germinación y crecimiento.

En contraste con lo anterior, la restauración activa necesita de diversas acciones impulsadas y controladas por el ser humano, las cuales se describen a continuación. La restauración activa es mucho más compleja y costosa, por lo que sólo se implementa cuando: a) el nivel de degradación (natural o humana) es muy severo; b) el origen de la degradación es humano; c) existen elementos que facilitarán la restauración (nivel de conservación del paisaje en el entorno del sitio a restaurar); d) es imperiosa la restauración; e) se cuenta con capacidad técnica y f) existen recursos económicos disponibles.

Las acciones de restauración están dirigidas hacia la recuperación de los ecosistemas naturales, y contemplan su salud, su integridad y su sostenibilidad. La Sociedad para la Restauración Ecológica (SER, 2004) definió la salud, la integridad y la sostenibilidad de un ecosistema restaurado de la siguiente manera:

### Integridad (estructura y composición de las comunidades)

- a) Estructura (está presente el ensamble original)
- b) Están presentes las especies nativas
- c) Están presentes los grupos funcionales característicos (un grupo funcional es aquel cuyos miembros cumplen la misma función, por ejemplo los herbívoros; las especies formadoras de dunas)
- d) Se recuperó la biodiversidad

### Salud

- a) El ambiente físico garantiza que se mantenga el buen funcionamiento de la comunidad y del ecosistema
- b) Están presentes las interacciones entre las especies
- c) Hay flujo de materia, energía y especies

▼ Cuadro 1.  
Técnicas de recuperación de ecosistemas y alcances de cada una en función de la salud, integridad y sostenibilidad de los ecosistemas.

Efectos/Acciones		Restauración	Revegetación	Rehabilitación	Reemplazo
		Recuperación de trayectoria histórica del ecosistema	Reforzamiento para que el sistema se auto-regenere	Recuperación parcial del ecosistema	Retorno a un ecosistema productivo pero distinto del original
Recuperación de salud	Ciclos biogeoquímicos	Muy buena	Muy buena	Buena	Baja
	Interacciones bióticas	Muy buena	Buena	Media	Baja
Recuperación de integridad	Composición de especies	Muy buena	Buena	Buena	Baja
	Estructura del ecosistema	Muy buena	Buena	Baja	Media
Sostenibilidad a largo plazo	Capacidad de resistencia a la perturbación	Muy buena	Muy buena	Baja	Baja
	Capacidad de auto-regeneración	Muy buena	Buena	Baja	Baja

### Sostenibilidad

- a) La comunidad es resiliente y puede recuperarse después de disturbios propios del sistema
- b) El ecosistema tiene la capacidad de autoregenerarse y persistir indefinidamente si las condiciones ambientales no cambian

En el Cuadro 1 se muestran las diferentes técnicas de recuperación de ecosistemas, así como los alcances de cada una en relación con las tres características básicas de un ecosistema (salud, integridad, sostenibilidad).

Es evidente que la restauración es la actividad que genera los mejores resultados. En el otro extremo, con ecosistemas severamente degradados, el reemplazo es la última opción ya que si bien se pueden recuperar algunas funciones e incluso lograr un ecosistema saludable, íntegro y sostenible, éste es un ecosistema simplificado que no provee los mismos servicios ambientales ni es capaz de mantener a las especies que habitaban en el sitio afectado antes de la degradación.

La restauración no es posible cuando un sitio está extremadamente degradado y por ello es fundamental evitar llegar a esta situación. Sin embargo, en circunstancias de degradación severa se pueden emplear otras técnicas como la rehabilitación, la revegetación, la reforestación o el reemplazo. La rehabilitación se refiere a la reconstrucción de un ecosistema, pero con el conocimiento de que va a necesitar acciones periódicas de mantenimiento, ya que no alcanzará su capacidad de regenerarse naturalmente. La revegetación se refiere a la siembra de especies vegetales con el fin de cubrir tierra desnuda, pudiéndose utilizar especies tanto herbáceas como leñosas.



En el presente diagnóstico sobre dunas costeras, el término revegetación se refiere a las plantaciones con especies herbáceas, mientras que la reforestación es la introducción de especies leñosas. La reforestación se aborda en el capítulo 11.

### Los pasos básicos para restaurar dunas costeras

Antes que cualquiera de las fases de la restauración, es importante conocer la dinámica de la costa y determinar si existe una fuente de arena disponible para la construcción de dunas, ya que si no hay arena, no hay playa ni duna posible. A grandes rasgos, la restauración de sistemas dunares se consigue a través de seis pasos básicos (Ley-Vega et al., 2007) (figura 1):

1. Eliminación o control de las fuentes de la degradación
2. Recuperación topográfica
3. Recuperación de la vegetación (cuando es necesario)
4. Protección del sitio
5. Divulgación
6. Seguimiento a largo plazo

### Eliminación o control de las fuentes de degradación

Antes de iniciar cualquier acción de restauración (pasiva o activa) o de rehabilitación, es importante determinar el origen de la degradación, las posibles amenazas y el estado de conservación de los alrededores. Este paso permite detectar las causas que provocaron la degradación del sistema dunar (un huracán, impactos generados por actividades turísticas, infraestructura sobre el sistema de dunas, la extracción de arena, etc.); identificar las posibles amenazas para el éxito del proyecto provenientes de los alrededores (ubicación en una costa con desarrollo desordenado, en una costa erosiva, etc.) así como explorar las maneras para hacer frente a dichas fuentes de perturbación y amenazas. Cuando se toman en cuenta estas consideraciones, se incrementan las posibilidades de que la restauración tenga éxito.

Las acciones de restauración deben estar regidas de acuerdo con las fuentes de degradación (natural o de origen humano). Si las dunas están expuestas a eventos naturales que las perturban (modifican la forma de las dunas y disminuyen la cubierta vegetal), los intentos de restauración serán hechos en contra de su dinámica natural. Si las fuentes de perturbación son de origen humano, es necesario determinar si pueden ser eliminadas o no. Algunas de las fuentes de perturbación de origen humano más frecuentes en las dunas son: la construcción de estructuras temporales o fijas, el pisoteo, la presencia de vehículos sobre la playa y las dunas, la extracción de arena, la minería y la plantación de especies exóticas.



◀ figura 1. Pasos que se deben seguir para la restauración de dunas costeras. (Información de Ley-Vega et al. 2007).

El estado de conservación de los alrededores también juega un papel importante en la elección del tipo de restauración (pasiva o activa, o rehabilitación) que se debe seguir, ya que proporciona una visión sobre las posibilidades que tiene la flora y la fauna nativa para colonizar naturalmente el sitio a restaurar o bien si necesitan ser reintroducidas. Esta primera evaluación servirá para la elección de sistemas dunares útiles como sitios de referencia cercanos o en su caso definirán la necesidad de una consulta a inventarios florísticos y faunísticos preexistentes. Una vez que las fuentes de degradación han sido identificadas, se deben evaluar las posibilidades de eliminarlas o por lo menos controlarlas para poder emprender una restauración. Cuando no es posible eliminar la fuente de degradación, la restauración tampoco es posible, pero se pueden considerar otras alternativas como la rehabilitación.

Después de identificar y eliminar o controlar los factores de perturbación, se inician las acciones de restauración (figura 1), para lo cual es necesario establecer las metas que se desean alcanzar. Cada una de las metas debe estar acompañada por los indicadores que serán utilizados para medir el grado de éxito o cumplimiento de las mismas. Esta fase es muy importante ya que es diferente que se quiera alcanzar el estado prístino de la playa o duna, o uno similar o equivalente.

### Recuperación topográfica

En casos severos de deterioro de las dunas se debe priorizar la recuperación de los factores abióticos, especialmente la topografía de las dunas. La recuperación de la topografía o reconstrucción dunar se realiza en zonas donde el cordón dunar ha desaparecido total o parcialmente (Ley-Vega et al., 2007). Esta reconstrucción se puede llevar a cabo con ayuda de sistemas pasivos de captación de arena (figura 2) o bien por medio de maquinaria.

Los sistemas pasivos de captación de arena son estructuras, normalmente empalizadas, que funcionan como obstáculos para que la arena que es transportada por el viento, choque contra estas estructuras, se deposite y se acumule. Los captadores de arena pueden ser de diversos materiales aunque los más comunes son ramas secas, tablas de madera o redes de plástico. Se prefieren los primeros dos materiales porque son biodegradables y al descomponerse aumentan el contenido de materia orgánica en el sustrato lo que facilita el establecimiento posterior de la vegetación (Cuadro 2). El uso de captadores pasivos de arena constituye la técnica más común por ser la opción

▶ figura 2. Captadores de arena utilizados en reconstrucción de dunas en España. (Foto: J.B. Gallego-Fernández)



más económica, eficiente y de fácil construcción. Además, tienen otras ventajas como la formación de dunas más heterogéneas que las que se construyen con maquinaria, lo cual también favorece el establecimiento de diversas especies de plantas. Para que un sistema de captadores pueda establecerse, se necesita tener en cuenta la dinámica sedimentaria de la costa (progradante, estable o erosiva), la dirección y fuerza del viento así como la presencia de fuentes de arena seca.

También los captadores de arena pueden ser de dos tipos: estructurales o de apoyo. Los captadores estructurales tienen como objetivo la formación de un cordón de dunas nuevo y se utilizan en zonas donde el cordón dunar ha sido severamente degradado o totalmente destruido. Por otro lado, los captadores de apoyo tienen como objetivo proteger de la erosión eólica a la vegetación de un cordón que está sólo parcialmente dañado y se usan en dunas degradadas que aún mantienen su perfil topográfico y algo de vegetación remanente o cuando éstas han sido revegetadas o reforestadas.

La localización de los captadores dependerá de la dinámica de la costa. En los casos en los que la dinámica sedimentaria de la costa sea estable (ver Capítulo 3 para tipos de costa), los captadores se construyen en el mismo sitio donde se sitúa el cordón a restaurar. En costas con dinámica progradante, los captadores se construyen sobre o delante del lugar que ocupaba el cordón frontal de dunas que ha sido degradado o destruido. En cambio, cuando se restauran las dunas ubicadas en costas con dinámica erosiva, los captadores deben instalarse varios metros detrás de dicho lugar, retrocediendo hacia tierra adentro, aunque es raro que realmente funcionen en estas circunstancias ya que es necesario que haya arena disponible para la creación de dunas.

La orientación de los captadores debe ser perpendicular a los vientos dominantes para obtener una mayor eficiencia en la acumulación de arena. La altura de los captadores, medida desde la base después de la instalación, es normalmente de 2 m. Sin embargo, en sitios con poco aporte de arena esta altura suele ser menor. La superficie donde se quiere reconstruir el cordón dunar determina la cantidad de captadores que se emplearán. Estos se suelen colocar paralelos unos a otros con alrededor de 5 m de separación entre ellos. Se ha experimentado que la posición en zig-zag es mejor para la acumulación de arena (Grafals-Soto, 2010; Grafals-Soto y Nordstrom, 2009).

Cuando los captadores quedan totalmente enterrados por la arena acumulada y en caso de que se necesite seguir aumentando el tamaño de la duna, se coloca una nueva línea de captadores sobre el depósito formado. Posteriormente, cuando la duna ha alcanzado la altura buscada, se consolida y estabiliza por medio de vegetación (Ley-Vega et al., 2007). Esta técnica es ampliamente utilizada en países como Estados Unidos, España y Holanda, pero nunca se ha empleado en México.

La reconstrucción de dunas por medio de máquinas como retroexcavadoras consiste en formar montículos de arena extraída de zonas cercanas y sólo se realiza en ocasiones excepcionales. Por ejemplo, cuando las dunas desaparecieron por las acciones humanas, en casos donde una población está en riesgo o cuando se formaron pasillos muy irregulares tras el embate de una tormenta o un huracán. Un ejemplo en el que se usaron máquinas por la urgencia de recuperar el servicio ambiental de protección que presta la vegetación de las dunas fue la rehabilitación de una duna artificial en el puerto de Veracruz (Moreno-Casasola et al., 2008). En este caso se construyó una duna de 10 m de altura y 2 km de longitud, la cual fue revegetada con pastos de potreros y con el nopal *Opuntia stricta* var. *dillenii*. Posteriormente y de manera natural, esta duna artificial fue colonizada por plantas nativas provenientes de fragmentos cercanos de vegetación natural.

### Revegetación

La revegetación es un punto clave, pues en estado natural las plantas son las encargadas de formar y mantener la estructura de las dunas (Hesp y Martínez, 2008). En general, los objetivos principales de una revegetación son: consolidar la duna construida, aumentar la dimensión de la duna (altura y anchura) y recuperar la vegetación dunar (com-

**▼ Cuadro 2.** Tipos de captadores de arena utilizados en la restauración de dunas. (Modificado de: NSW Department of Land and Water Conservation 2001; Ley-Vega et al 2007; McKann et al. 2005; O'Connell 2008).

Material del captador	Generalidades	Especificaciones	Ventajas	Desventajas
Estacas de madera (pueden ser recicladas, por ejemplo, de embarcaciones, plataformas, etc.)	Están constituidos por tablas de madera verticales unidas mediante tablas horizontales más estrechas. Las cercas formadas se entierran en el sustrato de forma que la estructura quede bien anclada	Las tablas verticales van separadas unos 25 cm. entre sí y su altura es de 1.2 metros, con una o dos tablas horizontales. Se excava una zanja de 0.6 m de profundidad donde se colocan las tablas. Se tapa la zanja manteniendo las maderas en posición vertical y se apisona la zona rellena para dar más estabilidad a la empalizada	Son útiles para la formación de depósitos provisionales en la playa seca. Son biodegradables, aunque necesitan más tiempo para degradarse que otros materiales. La deposición de arena ocurre tanto a barlovento como a sotavento	La acumulación es mucho más irregular que en los captadores flexibles. Pueden romperse y astillarse y ser peligrosos para los usuarios de las playas. Tienen un impacto negativo en el paisaje, mayor que el de otros materiales. En comparación con otros materiales, la vegetación tarda un poco más en establecerse
Mimbre o materiales similares	Los manojos de mimbre (ramas del sauce- <i>Salix</i> spp.) se disponen en filas paralelas entre ellas y separadas entre sí unos 8 metros	Longitud media de 1.80 m, de los cuales 0.60 m van enterrados. Se excava una zanja de 0.6 m de profundidad donde se colocan filas de mimbre. Se tapa la zanja manteniendo las varas de mimbre en posición vertical. Se apisona la zona rellena para dar más estabilidad a la empalizada	Permiten el paso lento de la arena mejor que los obstáculos sólidos. Estabilizan la superficie ayudando a la colonización natural. Su instalación es sencilla. Su precio es menor que las cercas de madera. Son biodegradables, aumentando el contenido en materia orgánica del suelo	Tienen un impacto paisajístico considerable. Son menos resistentes a fuertes inclemencias climáticas (lluvia y viento). Duran menos que la madera
Ramas secas (Ej. árboles de navidad)	Se utilizan ramas secas, por ejemplo árboles de navidad. Estos se acuestan en la parte trasera de la playa y se amarran a estacas clavadas en la arena y a su vez, se amarran unos a otros	Los árboles secos se colocan paralelos a la línea de costa. El tocón del árbol se amarra a una estaca de 81 cm de largo x 7.5 cm de ancho que ha sido parcialmente enterrada. El tocón del siguiente árbol es amarrado a la punta del árbol que ha sido asegurado. Se instala otra estaca en la unión de ambos árboles. Se repite la operación hasta cubrir la longitud necesaria	Su instalación es más sencilla. Su precio es menor que las cercas y que el mimbre. Son biodegradables, aumentando el contenido en materia orgánica del suelo	Son más endebles y duran menos que los de madera. Tienen un impacto paisajístico negativo

posición y abundancia). Se deben elegir cuidadosamente las especies que se utilizarán durante las acciones de revegetación (Castillo y Moreno-Casasola, 1996), así como tener muy claros los objetivos de estas acciones. Siempre se deben emplear especies nativas de dunas y adaptadas a las condiciones de la zona a revegetar. Si se utilizan especies equivocadas (ie. exóticas, no nativas de dunas o con comportamiento agresivo) se pueden tener consecuencias que empeoren la situación previa a la revegetación, como es la invasión de especies exóticas que modifica totalmente el funcionamiento de los ecosistemas.

Cuando los objetivos de la revegetación son la consolidación de una duna reconstruida y el aumento de sus dimensiones, se utilizan especies que pertenecen al grupo conocido como constructoras de dunas. Las constructoras de dunas se caracterizan porque su crecimiento se estimula con el enterramiento con arena (Martínez y Moreno-Casasola, 1996; Maun, 1998), porque crean redes subterráneas de raíces y porque son tolerantes a la salinidad. A lo largo de este libro las hemos denominado especies pioneras. En México, las especies herbáceas y arbustivas bajas pioneras (pastos, arbustos bajos y algunas otras rastreras), tolerantes al enterramiento y desenterramiento de arena son las primeras especies capaces de establecerse. Su función es acumular arena a su alrededor y formar dunas, al tiempo que cubren la arena y empiezan a estabilizarla.

Algunas de las especies mexicanas que forman dunas son:

- **Golfo de México.** La riñonina (*Ipomoea pes-caprae*), el frijol de playa (*Cnidoscolus rosea*), la verdolaga de playa (*Sesuvium portulacastrum*), el clavelillo de arena (*Palafoxia lindenii*), la lenteja de playa (*Chamaecrista chamaecristoides*), el crotón (*Croton punctatus*). El pasto *Sporobolus virginicus* es la graminéa por excelencia para sembrar en las dunas frontales y playas y *Uniola paniculata* (avena playera) en Tamaulipas.
- **Caribe.** El tabaquillo cenizo (*Tournefortia gnaphalodes*), *Scaveola plumierii*, otro tabaquillo (*Suriana maritima*), el uvero de playa (*Coccoloba uvifera*) y la verdolaga de playa (*Sesuvium portulacastrum*).
- **Pacífico norte y Golfo de California.** La verbena de playa (*Abronia maritima*), el saladito *Sesuvium verrucosum*, el pasto *Jouvea pilosa* y otras plantas comunes de las costas de los desiertos como *Oenothera drummondii*, *Ambrosia dumosa* y *Marina maritima*.
- **Pacífico sur.** La verbena de playa (*Abronia maritima*), la avena de playa (*Uniola pittieri*), la riñonina (*Ipomoea pes-caprae*), el mezquite (*Prosopis juliflora*). *Uniola pittieri* (avena de playa) es un buen pasto para el centro y sur del Pacífico como Jalisco y Chiapas.

Después de la consolidación de la duna construida, y cuando es necesario e imprescindible, se procede a estabilizar la arena móvil por medio de la colonización (o introducción) de otras especies de dunas. El conjunto de especies que se usan

### Elección de especies y obtención de individuos a trasplantar

Siempre especies nativas.  
**A) Especies formadoras de dunas, fijadoras de arena y facilitadoras, cuando el sistema dunar degradado quedó aislado (rodeado por zonas urbanas, agrícolas, etc.).**  
**B) Sólo son necesarias especies fijadoras de arena y facilitadoras, cuando el sistema dunar ha sido afectado parcialmente y la colonización desde zonas cercanas es posible.**

### Mejor época para la plantación

Considerar zona geográfica.  
 La alta humedad en el ambiente y en el sustrato facilitan la siembra.  
 Evitar sembrar en horas de máxima luminosidad solar.  
 Evitar sembrar en días con vientos fuertes.

### Diseño de la plantación

Con ayuda de sitios cercanos conservados (Sitios de referencia):  
 Establecer cuál es:  
 La variedad, densidad y distribución espacial de sitios cercanos conservados.  
 Evitar plantaciones muy densas pues éstas impiden la colonización de otras especies nativas que pudieran llegar desde sitios cercanos.  
 El hidrogel ayuda a la supervivencia de las plantas.

▲ figura 3.  
 Para las acciones de revegetación durante la restauración de dunas costeras se debe considerar la elección de especies nativas, decidir la época del año más adecuada para el trasplante y diseñar el método de la plantación.

para estabilizar las dunas (sobre todo los grandes médanos) debe considerar plantas que toleren el enterramiento por arena y que, con su crecimiento, vayan estabilizando la arena. Estas especies incorporan nutrientes al suelo, mejoran la capacidad de retención de humedad, reducen los extremos de temperatura y favorecen la presencia de micorrizas y bacterias fijadoras de nitrógeno. También se pueden usar pastos, ya que éstos pueden reproducirse en mayor número debido a que se pueden separar macollos o estolones y ello permitiría cubrir una mayor superficie. Estas especies juegan el papel de facilitadoras, ya que favorecen la colonización y el establecimiento de especies menos tolerantes a las condiciones ambientales extremas de las dunas móviles y que no son constructoras de dunas (Martínez, 2003; Martínez et al., 2004). Una vez estabilizadas las dunas y con una cobertura vegetal que ha mitigado las condiciones extremas de la arena en movimiento, se puede iniciar la reforestación con árboles y arbustos. Esta técnica es abordada ampliamente en el capítulo 11.

### Obtención de plantas para la revegetación

Cuando el sistema en proceso de restauración y revegetación se encuentra a poca distancia de uno conservado, se puede esperar que sea colonizado por otras especies de dunas de manera natural, después de la siembra inicial con especies formadoras de dunas. En caso de que el sistema a revegetar se encuentre rodeado por campos agrícolas, zonas urbanas, turísticas o con vegetación distinta a la dunar, se deben introducir las especies constructoras de dunas y además especies fijadoras de médanos y posteriormente introducir los árboles y arbustos (Capítulo 11).

Las especies que se hayan elegido para las acciones de revegetación y restauración pueden provenir de sitios conservados o de viveros (figura 3). El primer caso se recomienda cuando el sitio a restaurar es de poca extensión y se encuentra rodeado por dunas conservadas, que no estén sujetas a la erosión y con vegetación densa desde la cual se puedan extraer los individuos a trasplantar sin afectar la estabilidad de las dunas. En esta práctica se extraen los individuos con la mayor cantidad de raíz posible para facilitar su restablecimiento y sin pisotear la vegetación de alrededor. Previamente al trabajo, es sumamente importante saber cuántas plantas se van a necesitar, pues se debe asegurar que la extracción del medio natural no afecte al sistema. Generalmente para una plantación se requieren del orden de miles de plantas.

El cultivo en vivero es lo más común porque se necesita un elevado número de plantas para la revegetación. El vivero debe ubicarse cerca de la costa y del sitio a restaurar. Lo anterior abaratará los costos de la restauración porque: a) se perderán menos individuos por estrés post-trasplante y se incrementará su tasa de éxito en el establecimiento ya que las plantas se habrán desarrollado en un ambiente similar al de transferencia (arenoso, móvil y con salinidad en la atmósfera) y b) el costo de transporte será menor que si se llevaran desde viveros establecidos tierra adentro. Además, la mano de obra puede ser proporcionada por los habitantes de comunidades cercanas, obteniéndose un beneficio para ambas partes.

Las plantas se pueden reproducir por medio de semillas (reproducción sexual) o vegetativamente (reproducción asexual). Siempre lo más recomendable es la reproduc-

ción sexual, ya que mantiene la variabilidad genética de las especies y garantiza una mejor conservación. Cuando la obtención de semillas y la germinación son complejas y no se obtiene una buena producción de individuos, entonces se puede optar por combinar los métodos de obtención de plantas para la revegetación a partir de semillas, con la propagación vegetativa por estacas, separando macollos, rebrotes o también por clonación en laboratorio.

Es importante que las semillas sean frescas, muchas semillas envejecen y ya no son útiles Walmsley y Davy (1997). Asimismo se debe considerar la tolerancia de las especies a la salinidad propia del ambiente de dunas (de Jong, 1979).

La propagación vegetativa (o reproducción asexual) es un tipo de reproducción que proporciona plantas con características exactamente iguales a las de la planta progenitora. Esta técnica es muy útil cuando se requiere una gran cantidad de plantas, pero no substituye a la reproducción sexual que ocurre a través de las semillas. La reproducción vegetativa, de preferencia se debe usar con aquellas especies que de manera natural presentan este tipo de propagación en condiciones naturales (Bravo-Aviña y Escoto-Rodríguez, 2012), como por ejemplo las Cyperáceas (*Juncus* spp., *Cyperus* spp.) de las hondonadas inundables, los pastos de las dunas e *Ipomoea-pes-caprae* y *Sesuvium portulacastrum* en las playas.

Es importante recalcar que cuando se usan plantas producidas a partir de reproducción asexual, éstas se deben de mezclar con una porción de plantas obtenidas a partir de la germinación de semillas para garantizar la mayor diversidad genética posible. Asimismo, es importante mencionar que cuando una especie requiere fertilización cruzada (fecundación en la que cada gameto viene de un individuo distinto) no se sabe cómo se afectaría la fecundidad si los vecinos son clones, es decir, provienen del mismo individuo genéticamente.

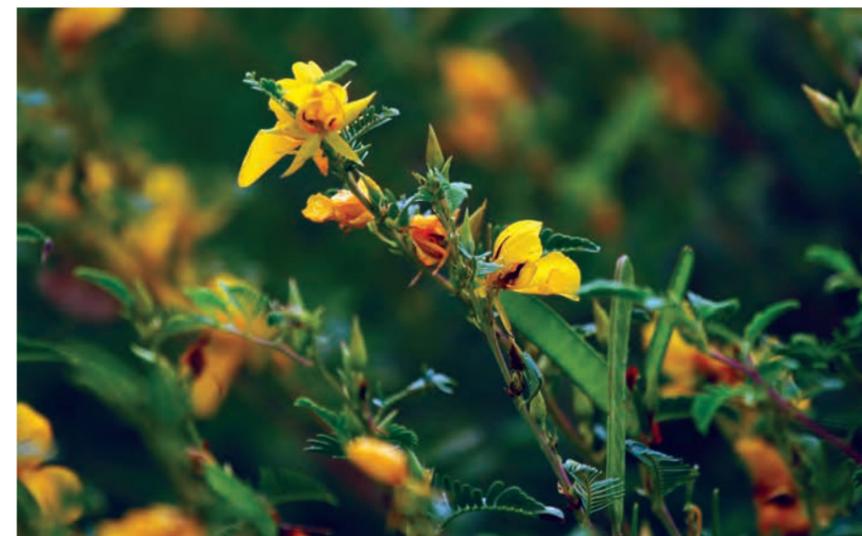
Se recomienda que la densidad de siembra se decida en función de la comunidad vegetal que se intenta restaurar. Para ello se deben visitar lugares cercanos y que estén bien conservados o, en el caso de existir, analizar fotos o estudios de la localidad antes del evento que las destruyó. Si es en la zona de playa se siembran manchones mono-específicos aislados de plantas, dejando espacio para que se expandan, pero si es en los primeros cordones de dunas pueden sembrarse las plantas a distancias más cercanas y con mayor variedad de especies. Se han realizado trabajos sobre la biomasa vegetal de las dunas en California, que comparte algunas especies de playas y dunas con Baja California y Sonora (Barbour y Robichaux, 1976). En este trabajo se demuestra que las especies dominantes en cada playa son diferentes y que la biomasa vegetal de las dunas costeras es parecida a la de las estepas y los desiertos.

En México existen muy pocos estudios sobre la germinación de las especies de las dunas costeras y menos aun, sobre su propagación vegetativa. Sin embargo, sí existen estudios en otros países realizados con especies de dunas que también se encuentran en México, por lo que se podría utilizar esta información para nuestro país. Por ejemplo,



▲ figura 4.  
Fotografía de *Abronia villosa*, especie pionera común en el noroeste de México. (Foto: Gerardo Sánchez Vigil)

*Abronia maritima* se ha estudiado en California (USA) pero también crece en el Pacífico mexicano (Johnson, 1979). Otras especies se comparten con las marismas (Zedler, 1988) o las dunas del norte de California (Pickart y Sawyer, 1998) y en Texas hay experimentos con *Sesuvium portulacastrum* (Lonard y Judd, 1997). En Florida existe el "Manual para la restauración de las dunas costeras de Florida" (Williams, 2007), donde se describen los métodos de propagación de las plantas de dunas de esta región, y muchas de las especies de las dunas de Florida también crecen en las dunas costeras del Golfo de México y del Caribe. En México, Martínez et al. (1992), Moreno-Casasola et al. (1994) y Martínez et al. (2002) observaron que las semillas de las especies de dunas son tolerantes a la salinidad y al enterramiento con arena. Algunas germinan fácilmente (como las semillas de los pastos: *Schizachyrium scoparius* y *Trachypogon plumosus*). En cambio, las semillas con una cubierta muy dura (*Canavalia rosea*, *Ipomoea pes-caprae*, *Chamaecrista chamaecristoides*, *Acacia farnesiana*, *Macroptilium atropurpureum*) requieren un tratamiento especial, que pueden ser fluctuaciones extremas de temperatura, golpeando ligeramente las semillas o bien por medio de una incisión en su cubierta dura. Después de estos tratamientos previos, las semillas germinan rápidamente y con buena eficiencia, alcanzando porcentajes muy altos de germinación, mayores al 60%. Los viveros comunitarios en Veracruz (Vivero de la Mujer Campesina de Palmas de Abajo y Ecoguías La Mancha en Movimiento) tienen experiencia con diversas especies. En el recuadro 1 se presenta información detallada sobre las experiencias de propagación de una especie importante de las dunas del Pacífico, *Abronia maritima* y en el recuadro 2 de una especie del Golfo de México, *Chamaecrista chamaecristoides*.



▲ figura 5.  
Fotografía de *Chamaecrista chamaecristoides*, arbusto pionero colonizador de dunas móviles en el Golfo de México. (Foto: Gerardo Sánchez Vigil)

Los estudios sobre propagación vegetativa de plantas de dunas son aun más escasos que los de germinación. En Baja California se han realizado algunos experimentos para reproducir plantas por medio de clonación (en agave y cactáceas) (Escoto, com. pers.), pero no son especies de dunas. En el caso de *Abronia maritima* (en las costas del Pacífico) se pensó que sería una buena especie para clonar, ya que se requerían grandes cantidades de individuos, además de tratarse de una especie en peligro de extinción. La clonación en laboratorio es una técnica que tiene algunos inconvenientes. Por ejemplo, es costosa, y al obtenerse ejemplares exactamente iguales a la planta madre se reduce la variabilidad genética de las poblaciones y las hace más susceptibles a enfermedades. Las acciones de clonación de *Abronia* se detuvieron debido a la necesidad de mantener la variabilidad genética de esta especie así como el reducido éxito que se obtuvo en la clonación (ver recuadro 1). Aunado a lo anterior, recientemente se están realizando experimentos piloto sobre la propagación vegetativa de *Ipomoea pes-caprae* y por el momento se sabe que después de 10 días los fragmentos de ramas de esta especie empiezan a producir raíces nuevas y 10 días después inicia la formación de hojas (Ortega, en proceso).

En la sección de cada estado se podrá encontrar información particular para cada zona sobre las especies características y las condiciones actuales, y en los capítulos 5 y 6 se presenta más información sobre la vegetación y las especies que la conforman. En el recuadro 3 se muestra un ejemplo de rehabilitación/restauración de dunas implementado en México.

**Recuadro 1.**

**Ejemplo de un experimento de germinación de una planta de dunas costeras del Pacífico**

La alfombrilla o verbena de playa, *Abronia maritima*, es una hierba perenne formadora de dunas costeras. Se distribuye desde California, en Estados Unidos, hasta Colima, México. Es una especie en peligro de extinción debido a la destrucción de su hábitat y sobre todo debido al desplazamiento por especies invasoras. Algunos sitios en los que habita merecen restaurarse y para ello se requiere del desarrollo de técnicas de propagación específicas. Aquí se presentan algunas recomendaciones para la propagación de esta especie. *Abronia maritima* no se reproduce vegetativamente y depende totalmente de la dispersión y germinación de sus semillas para su establecimiento y recolonización. Produce una diáspora alada parecida a un fruto, pero que en realidad es un antocarpio. Dentro de él se encuentra lo que parece una semilla, que en realidad es el fruto llamado aquenio. Cada antocarpio puede contener un solo aquenio, pero no todos los antocarpos tienen aquenios. Se ha observado que en plantas solitarias un 20% de los antocarpos tienen aquenio, pero la cantidad de antocarpos con aquenios se incrementa hasta un 40% en lugares donde hay muchas plantas cercanas. Esto es porque en ciertas poblaciones se requiere de fertilización cruzada, es decir del polen de plantas cercanas. Por lo tanto es mejor coleccionar antocarpos donde hay más plantas. El aquenio se debe extraer del antocarpio para hacerlo germinar ya que se ha encontrado que es muy difícil la germinación directamente con el antocarpio. Para extraer el aquenio de una manera rápida se comparó el uso de un molador de café con un aparato cortador de verduras. El número de aquenios obtenidos con el cortador de verduras resultó similar al obtenido a mano, en cambio con el molador de café se obtienen menos porque se destruyen los aquenios.

Para lograr una mayor germinación en esta especie se requiere de un estímulo de etileno. Sin ese estímulo es muy probable que no se obtenga germinación. Una fuente de etileno es el etefón, con él se puede lograr una germinación de hasta el 60%. Una alternativa más accesible es aprovechar el hecho de que algunas frutas, llamadas climatéricas, liberan etileno cuando maduran. Se puede usar manzana o plátano para este fin. Se ha obtenido una germinación de hasta 20% con manzana y 16% con cáscara de plátano. Hay mayor germinación en oscuridad que en exposición a la luz. Asimismo, la germinación se incrementa cambiando la fruta de vez en cuando para evitar la contaminación y asegurar otro pulso de liberación de etileno (Bravo-Aviña y Escoto-Rodríguez, 2012).

**Recuadro 2.**

**Ejemplo de un experimento de germinación de una planta del Golfo de México**

La lenteja de playa, *Chamaecrista chamaecristoides*, es un arbusto bajo colonizador y formador de dunas costeras. Es endémica de México y es abundante a lo largo de las dunas costeras del Golfo de México, teniendo unas pequeñas poblaciones en Jalisco. Su hábitat característico son las dunas costeras móviles y el fondo de las playas. Es una especie cuyas poblaciones han disminuido debido a la pérdida de hábitats por la expansión de las ciudades y los centros turísticos.

No se propaga vegetativamente, y depende de las semillas para su colonización y establecimiento. Las semillas se producen en vainas y son dispersadas cuando estas vainas se secan y explotan. Posteriormente se dispersan junto con los granos de arena en movimiento por la acción del viento. Las semillas tienen la forma aplanada y cuadrada, midiendo entre 3.5 y 5 mm de longitud. Sólo el 25% de las semillas pueden germinar inmediatamente después de ser dispersadas y el resto permanece latente hasta que son expuestas a las fluctuaciones extremas de temperatura que ocurren en la arena desnuda. Como alternativa a las temperaturas extremas, se logra su germinación cuando se hace una pequeña incisión en la cubierta de la semilla, por medio de una navaja. Esta incisión debe realizarse en la parte opuesta a donde está la radícula (Moreno-Casasola et al., 1994). La germinación alcanza más del 90% cuando las semillas se exponen a los cambios de temperatura o cuando se produce una incisión.

Las semillas son muy tolerantes al enterramiento con arena y logran germinar y emerger a la superficie desde profundidades de hasta 8 cm, lo que representa hasta 16 veces el tamaño de la semilla. En cambio, son poco tolerantes a la inundación con agua dulce y agua de mar, condiciones en las que generalmente se pudren (Martínez et al., 2002).

**Otras acciones diferentes de la revegetación**

Es importante resaltar que no siempre son necesarias las acciones de revegetación. Un ejemplo de revegetación y reforestación implementados de manera errónea es la estabilización de las dunas móviles, cuando esto no hace falta. A menos que se demuestre que es absolutamente necesaria la fijación de las dunas, lo ideal es que éstas permanezcan móviles, para que así cumplan con su papel de protección contra el impacto erosivo de las tormentas y los huracanes (López-Portillo et al., 2011). La erosión y auto-restauración de las dunas móviles es normal y es lo que las convierte en barreras de protección eficientes. Cuando estas dunas son estabilizadas artificialmente por construcciones humanas o por plantaciones, se incrementa el efecto del viento y oleajes fuertes tierra adentro. De hecho, en muchos países donde las dunas móviles fueron cubiertas de vegetación, las acciones de restauración actuales se enfocan en remover estas plantaciones para recuperar la movilidad de la arena. Lo anterior se debe al efecto negativo que

han tenido estas plantaciones sobre la biodiversidad y servicios ambientales de las dunas costeras (Pickart, 1997; Lithgow et al., 2013b).

Otra situación en la que no se deben realizar actividades de revegetación o reforestación se presenta cuando las dunas están cubiertas por especies vegetales exóticas que se han convertido en invasoras, o cuando existe una especie dominante que interfiere con el funcionamiento del ecosistema. En estos casos se emplea una estrategia alternativa de restauración que es la eliminación de la cubierta vegetal. Este es el caso del pino salado o casuarinas en el Golfo de México y de los "deditos" (*Carpobrotus edulis*) en Baja California. Algunas experiencias con plantas invasoras en dunas, aunque no se compartan con México, son importantes para analizar antes de ejecutar un proyecto de restauración que involucre la eliminación de especies exóticas (Pickart et al., 1998 a y b).

Con esto se favorece la colonización de especies características de dunas costeras y aumenta la biodiversidad del sistema (Lithgow et al., 2013b). Esta técnica sólo se utiliza

cuando existen sitios conservados en los alrededores; en caso contrario, la posterior revegetación con especies nativas es necesaria.

En el caso de México, las acciones de restauración y reforestación son necesarias principalmente en las dunas estabilizadas que se encuentran en estado de conservación malo (las dunas en estado de conservación muy malo están urbanizadas y una acción de restauración es improbable). En el capítulo 8 se describe el estado de conservación de las dunas de México y se concluye que muchas de las dunas estabilizadas del país, especialmente las frontales y parabólicas, se encuentran en un estado de conservación malo o muy malo. Esto quiere decir que son dunas fuertemente afectadas por las acciones humanas que abarcan desde actividades agropecuarias con asentamientos humanos dispersos, hasta estar casi totalmente cubiertas por asentamientos urbanos. En estos tipos de dunas, después de detener la fuente de perturbación, la revegetación es una técnica de restauración muy recomendada. En las dunas que están inmersas en paisajes fuertemente transformados, las acciones de revegetación son muy importantes porque las posibilidades de colonización a partir de otros sistemas de dunas conservados son prácticamente imposibles.

La revegetación con especies no nativas de dunas o bien con especies exóticas siempre genera grandes problemas que después son más difíciles y costosos de resolver porque limitan la cantidad de luz, disminuyen la temperatura, alteran la química del

**Recuadro 3.**  
**Acciones de rehabilitación/restauración en México**

En México se han hecho pocos esfuerzos por revegetar dunas degradadas. Uno de estos fue el realizado en el Puerto de Veracruz, experiencia que fue desarrollada por el personal de APIVER (Moreno-Casasola et al. 2008). Después de las obras para la ampliación de este importante puerto, las dunas costeras y su vegetación fueron totalmente destruidas y eliminadas. Lo único que quedó fue una duna artificial inestable que medía 2 km de largo por 10-20 m de alto y sólo tenía vegetación remanente en la pendiente de tierra adentro. La arena empezó a moverse poniendo en riesgo a casas y caminos aledaños por lo que tuvo que ser estabilizada urgentemente por medio de revegetación.

El objetivo de la revegetación fue recuperar el servicio de protección contra tormentas y huracanes; detener el movimiento de arena y crear un ambiente propicio para que las especies nativas pudieran recolonizar. Debido a que no se pudieron conseguir plantas nativas de las dunas que fueran cultivadas en viveros comercialmente, se probaron tres comunidades artificiales. La primera estaba dominada por una cactácea nativa de las dunas (*Opuntia stricta* var. *dillenii*); la segunda comunidad estaba dominada por el zacate guinea (*Panicum maximum*) que es un pasto introducido y que fue obtenido de los potreros sobre dunas que había en los alrededores; la tercera comunidad también fue dominada por un pasto usado en potreros, el pasto morado (*Paspalum lividum*). Este pasto fue trasplantado en forma de tiras que incluían 5cm de suelo y que por lo tanto, contenían semillas de otras especies. Estos tres tipos de vegetación fueron regados con una pipa de agua durante la temporada de secas.

La revegetación fue monitoreada por 5 años y para el primer año ya se había alcanzado una cobertura vegetal del 100%. La estabilización de la arena fue igual de rápida en todas las comunidades pero en aquellos lugares donde dominó *Opuntia*, la diversidad de plantas fue mayor. Aunque la mayoría de las especies encontradas eran hierbas y enredaderas generalistas. Se observó que los remanentes de la vegetación original jugaron un papel muy importante como fuente de especies nativas (especies de selva baja caducifolia sobre dunas) que poco a poco empezaron a colonizar el sitio restaurado (Moreno-Casasola et al., 2008). El empleo de especies nativas de dunas hubiera favorecido la recuperación de la comunidad original, lo cual escasamente se logró con la metodología seguida y con el uso de especies de potreros. Sin embargo, el objetivo de detener el movimiento de la arena sí fue alcanzado, a pesar de que la comunidad generada no era rica en especies nativas.

suelo e hidrología de los lugares en que son introducidas y en ocasiones se convierten en invasoras. Un ejemplo de reforestación y estabilización de dunas con especies exóticas es cuando se utiliza al pino de mar (*Casuarina esquetifolia*) que es una de las especies exóticas más problemáticas en las dunas de México y el mundo. Esta especie fue ampliamente introducida para fijar dunas en el litoral mexicano, especialmente en Veracruz. Sin embargo, este árbol limita la recolonización de especies nativas porque produce una capa gruesa de hojarasca de descomposición lenta. La hojarasca de esta especie encapsula los pocos nutrientes que tiene el sustrato y es rica en elementos tóxicos como selenio. Es por ello que se forman manchones dominados por estos árboles y sólo algunas herbáceas que rara vez son nativas. Solamente cuando el manto freático está muy cercano a la superficie se descompone la hojarasca y permite el establecimiento de otras especies (Moreno-Casasola et al., 2013).

**Protección de la zona restaurada y divulgación**

Una vez que la vegetación ha sido trasplantada (o removida cuando así se consideró necesario), el sitio restaurado se debe proteger del pisoteo de los visitantes y del ramoneo por animales de potrero. Para lograrlo, se pueden usar desde cuerdas que delimiten el área restaurada hasta cercas de madera o enrejados de metal (figura 7). El material y el tipo de encerrado deberá elegirse tomando en cuenta el número y tipo de visitantes que frecuentan el sitio. Además, se debe considerar que el enrejado no obstaculice el paso de fauna y anidamiento de aves y tortugas marinas. Cuando el enrejado o los captadores de arena se colocan de manera paralela al primer cordón de dunas y de forma continua, se bloquea el acceso a las zonas de anidación de las tortugas, causando un severo impacto en la reproducción de estos organismos. Es importante darle seguimiento al experimento y mantener vigilancia. Por ejemplo, en una ocasión cada planta del experimento fue encerrada en una caja de malla pero aun así los conejos cavaron junto a los enrejados que las protegen y se las comieron (Sánchez, 1996).

El enrejado se puede evitar si se instalan pasarelas elevadas por las cuales los visitantes puedan acceder fácilmente a la playa. Asimismo, la protección del sitio debe ser acompañada por letreros que informen a los visitantes lo que está sucediendo, por qué se está llevando a cabo la restauración y sus beneficios para la sociedad (figura 8). Para que las protecciones no sean destruidas es importante que se promuevan actividades de educación ambiental.

**Seguimiento de las acciones de restauración**

Por último, el sitio en restauración debe ser monitoreado, lo que permitirá tomar decisiones de manejo que corrijan la trayectoria que está tomando el sitio en caso de que ésta sea diferente de la deseada. Por medio del monitoreo se podrán detectar

◀ **figura 6.**  
Comparación de diferentes sistemas de protección de una zona restaurada y un breve análisis de ventajas e inconvenientes de cada uno. (Información: J.B. Gallego-Fernández).

Cercas	Pasarelas	Caminos dirigidos
<p><b>Ventajas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Costos moderados</li> <li>•No cimentación</li> <li>•Difícilmente franqueables</li> <li>•Muy efectiva</li> </ul> <p><b>Desventajas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Rotura de malla metálica</li> <li>•Rotura madera, astillas</li> <li>•Difícil de extraer si se entierra</li> <li>•Alto impacto paisajístico</li> </ul>	<p><b>Ventajas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•No cimentación</li> <li>•Bajo impacto paisajístico</li> <li>•Fácil de extraer si se entierra</li> </ul> <p><b>Desventajas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Costos elevados</li> <li>•Fácilmente franqueable</li> <li>•Rotura de madera, astillas</li> <li>•Vulnerable a vándalos</li> </ul>	<p><b>Ventajas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Costos muy bajos</li> <li>•No cimentación</li> <li>•Escaso impacto paisajístico</li> </ul> <p><b>Desventajas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Fácilmente franqueable</li> <li>•Rotura de madera, astillas</li> <li>•Vulnerable a vándalos</li> </ul>



◀ a)



◀ b)



▲ c)

◀ ▲ **figura 7.**  
Imágenes de diferentes sistemas de protección de zonas restauradas. a) Cercas; b) Pasarelas y c) Caminos dirigidos, estacas de madera con cuerdas en el sur de España.  
(Fotos: J.B. Gallego-Fernández)

y resolver a tiempo problemas como: a) la presencia de erosión por algún fenómeno meteorológico; b) la invasión de alguna especie exótica o nativa con comportamiento agresivo; c) la falta de establecimiento de especies que están en el sitio de referencia pero que no hayan logrado llegar a la zona restaurada d) la herbivoría y; d) que el establecimiento y la supervivencia de plantas sean menores a lo esperado. Todas las activi-

dades de manejo antes mencionadas tienen menor costo económico y son reversibles si son detectadas a tiempo.

La manera más eficiente de dar seguimiento a la experiencia de reforestación es observar el crecimiento y la supervivencia de las plantas sembradas desde el momento de la revegetación. Estos transectos o cuadros deben ser transversales a la línea de



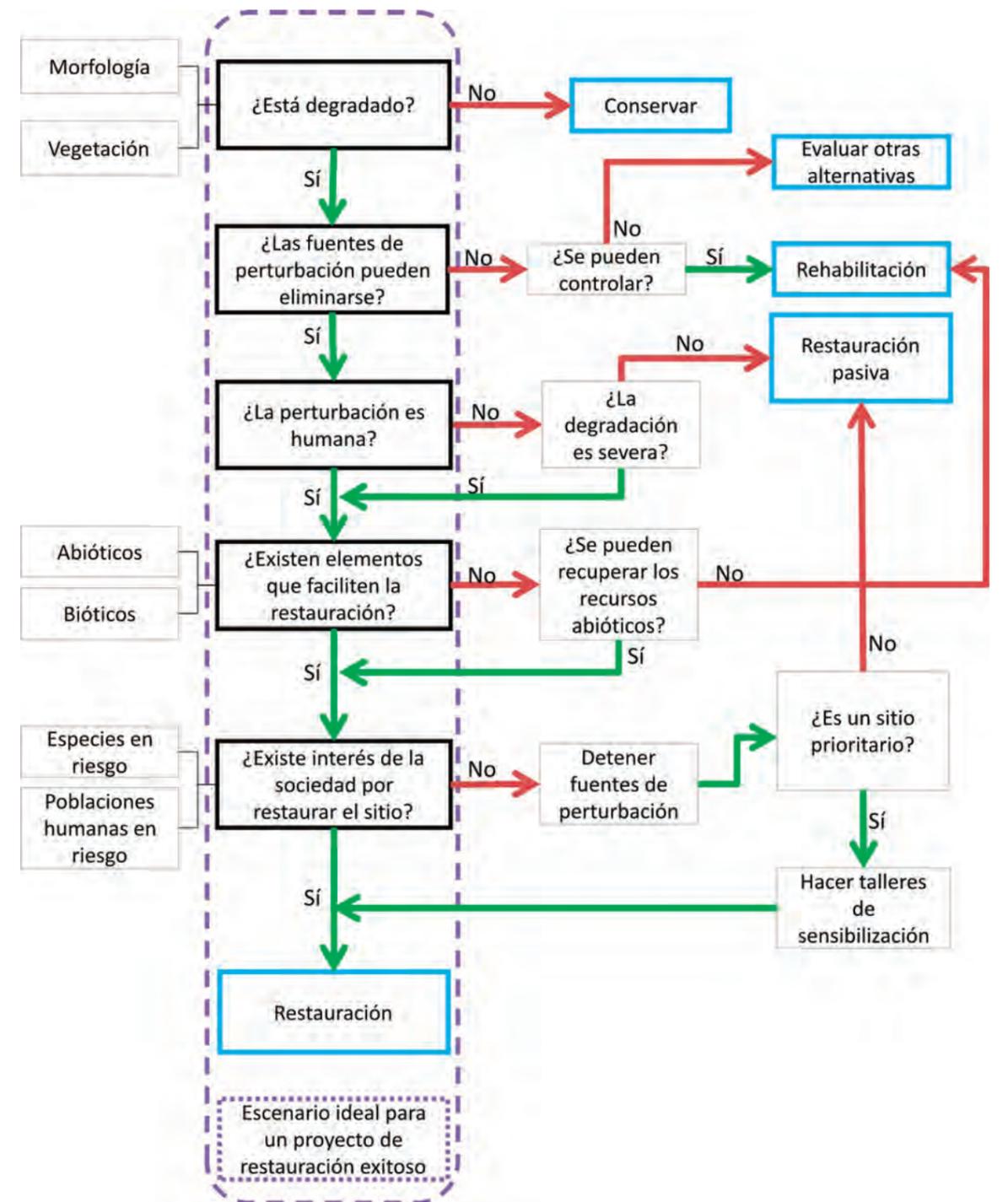
▲ figura 8. Accesos a la playa a través de pasarelas, de manera que se protegen las dunas y la vegetación y se facilitan las actividades en la playa, en España. (Foto: J.B. Gallego-Fernández)

costa y tanto la cobertura como la diversidad de especies dentro de los mismos deben ser medidas periódicamente. El seguimiento de los aspectos relacionados con el aporte de sedimentos y la erosión puede darse por medio de perfiles topográficos que permitan evaluar si la acumulación de arena es la esperada. Estos perfiles deben incluir la playa pues ésta es la fuente de la arena que será movida tierra adentro por los vientos dominantes. En áreas extensas, el seguimiento puede apoyarse en herramientas como imágenes de alta resolución, fotografías aéreas, entre otras. Para esta etapa del trabajo lo más sencillo es establecer convenios de trabajo con instituciones académicas cercanas, sobre todo pensando que en los próximos años es fundamental en nuestro país adquirir la experiencia y registrarla mediante publicaciones, para poder avanzar en estos temas.

## ¿Cuándo y dónde es necesario realizar actividades de restauración en sistemas dunares?

Para determinar si un sistema de dunas costeras necesita y puede ser restaurado se deben considerar aspectos geomorfológicos, ecológicos y sociales. Se han definido diferentes aspectos que se deben analizar para evaluar la necesidad y posibilidad de realizar acciones de restauración exitosas (Lithgow et al., 2013a), los cuales se resumen en la figura 9:

- 1) Determinar si las dunas costeras están degradadas y si necesitan acciones de restauración. Se debe considerar la degradación de la topografía, la composición y abundancia de la flora y la fauna, así como la dinámica del movimiento de la arena y los ciclos de nutrientes y del agua. Si un sistema no está degradado, intervenir en él es una manera de perturbarlo. Si la degradación es extrema entonces la mejor opción es la rehabilitación.
- 2) Analizar el origen del disturbio y determinar si se puede eliminar y controlar.
- 3) Analizar si existen los elementos que favorezcan la restauración, considerando la orientación y el tipo de costa, la presencia de arena móvil, así como la presencia de especies nativas. Analizar la fuente de la arena, su movimiento y época de mayor movimiento.
- 4) Explorar si existen elementos sociales que fomenten el interés por la restauración (áreas naturales protegidas, servicios ambientales, especies de interés particular).



▲ figura 9. Elementos que se deben considerar para decidir cuándo y dónde es necesario realizar actividades de restauración de dunas costeras. (Lithgow et al., 2013a).

Restauración

## Costos de la restauración

Los métodos para restaurar un sistema dunar son diversos y la elección de los métodos que se utilizarán depende de las metas perseguidas, del grado de perturbación, de la fuente de degradación y de la morfología natural de las dunas. La variedad de mecanismos disponibles y la diferencia de precios entre un lugar y otro hacen difícil el cálculo del precio de la restauración de dunas de manera genérica. Hay acciones relativamente económicas como es la restauración pasiva, mientras que otras son de costos muy elevados. Se pueden estimar costos aproximados a partir de experiencias previas, como la información recopilada por Pérez-Maqueo et al. (2013) (Cuadro 3). Es importante señalar que esta información se obtuvo a partir de acciones de restauración realizadas en países europeos o de Estados Unidos. Existen experiencias de restauración de playas en Cuba, donde se menciona que por cada 10 dólares que ingresan en la zona turística, 9 se invierten en proyectos de restauración de arena de la playa. En México no se tiene información sobre el costo de la restauración de dunas, porque no se han desarrollado estas actividades, pero sí se tiene información aproximada sobre los costos de la reconstrucción de las playas de Cancún. Por ejemplo, en 2006 se invirtieron 19 millones de dólares en la reconstrucción de las playas de Cancún (Manifestación de Impacto Ambiental 23QR2004T0046) y en 2010 se volvieron a reconstruir estas mismas playas por aproximadamente 960 millones de pesos. Estos son los costos de recuperación de 12 km de playa con 40 m de ancho (Martocchia, 2010) y es una tarea que tendrá que hacerse cada determinado periodo, pues la experiencia mundial ha demostrado que son acciones efectivas durante unos pocos años (Bird, 1996). Es obvio que la conservación es una labor mucho más rentable que la recuperación. Esta es una lección costosa que debemos aprender, sobre todo los tomadores de decisiones y los inversionistas. Como se ha visto en este trabajo, México tiene aún cientos de kilómetros de playas con potencial para desarrollar. Si se hace de manera sustentable, si conservamos el sistema, siguiendo lineamientos de manejo adecuados a las condiciones locales (Pedroza et al., 2013), y ajustando el proyecto al ecosistema y a su capacidad de carga en lugar de imponer un proyecto sin tomar en cuenta la situación ambiental, se evitará tener que restaurar, por lo menos en el corto o mediano plazo.

En el Cuadro 3 se observa que la creación de dunas que han sido completamente destruidas así como la desestabilización de dunas móviles que fueron fijadas artificialmente son acciones muy costosas. Tanto la creación de dunas como la re-movilización necesitan una gran inversión en mano de obra. Además, en el caso de la re-movilización, los costos aumentan porque se necesita la remoción de toda la cubierta vegetal y porque las especies que fueron introducidas dejan a su paso afectaciones en el sustrato como el exceso de nutrientes, lo que interfiere con el funcionamiento normal del ecosistema.

Además, algunas especies exóticas dejan en el sustrato sustancias que impiden

▼ Cuadro 3.

Análisis de actividades de restauración en diferentes partes del mundo y costos asociados a dichas acciones. (Pérez-Maqueo et al. 2013)

Mecanismo	Metas	País	Área/ volumen restaurado	Fuente de financiamiento	Costo en dólares \$US(2010)	Unidades
<b>Remoción de pinos que fueron plantados para fijar móviles</b>	Protección de bosques nativos que se desarrollan sobre dunas	España	50 ha	Gobierno	1,545,628	Dólares/ha
<b>Creación de dunas, plantación con especies nativas</b>	Recreación y protección	Dinamarca	500 ha	Gobierno	77,393	Dólares/ha
<b>Eliminación de plantas exóticas</b>	Restaurar movilidad y diversidad de flora nativa	EUA	327 ha	Gobierno/ Voluntarios	65,293	Dólares/ha
<b>Chapeo para desestabilizar duna móvil fijada artificialmente</b>	Restaurar movilidad y diversidad de flora nativa	Holanda	6 ha	Gobierno	29,414	Dólares/ha
<b>Restauración de duna semi-móvil (chapeo, recuperación del manto freático, re-movilización)</b>	Restaurar movilidad y diversidad de flora nativa	Holanda	100 ha	Gobierno	12,053	Dólares/ha
<b>Costo anual de una duna creada artificialmente</b>	Recreación y protección	Dinamarca	500 ha	Gobierno	2,229	Dólares/ha
<b>Re-movilización y monitoreo</b>	Restaurar movilidad y diversidad de flora nativa	Nueva Zelanda	150 m playa	Gobierno	1,123	Dólares/m lineal
<b>Cercado</b>	Recuperar diversidad de flora nativa	Italia	7,000 m <sup>2</sup>	Gobierno	962	Dólares/ha
<b>Revegetación con especies nativas</b>	Recuperar belleza del lugar	EUA	2,373 m	Involucrados/ Gobierno	275	Dólares/m lineal
<b>Instalación de geotubos</b>	Protección contra tormentas	EUA	2,373 m	Involucrados/ Gobierno	247	Dólares/m lineal
<b>Re-movilización y revegetación con especies nativas</b>	Protección contra tormentas	EUA	2,373 m playa	Involucrados/ Gobierno	99	Dólares/m lineal
<b>Consulta con especialista, maquinaria pesada, revegetación y cercado</b>	Restaurar movilidad y diversidad de flora nativa	Nueva Zelanda	150 m playa	Gobierno	58	Dólares/m lineal
<b>Desestabilización</b>	Restaurar movilidad y diversidad de flora nativa	Holanda	3,000 m <sup>3</sup>	Gobierno	9	Dólares/m lineal
<b>Revegetación</b>	Recuperar belleza del lugar	USA	17,830 m <sup>3</sup>	Involucrados/ Gobierno	2	Dólares/m lineal

o limitan el posterior establecimiento de especies nativas. Este es el caso del pino de mar (*Casuarina equisetifolia*) que fue plantado alrededor del mundo, incluyendo México, para fijar dunas y que ahora es una de las especies que son removidas con más frecuencia por los daños que ha causado en los ecosistemas donde fue introducida. Una situación similar se ha presentado en Europa, donde hay diversas experiencias de remoción de plantaciones de pinos que fueron sembrados para obtener madera hace varias décadas (Muñoz-Reinoso et al., 2013). Cabe decir que en México es una especie que se sigue usando para estabilizar las dunas frontales y las dunas móviles.

A pesar de los altos costos monetarios que implica una restauración, no restaurar las dunas degradadas tiene un mayor costo tanto en daños como en infraestructura y vidas humanas (ver capítulo 8).

## Prácticas de manejo

Proteger y hacer uso racional de las dunas costeras es la mejor alternativa de manejo porque permite conservar especies únicas y seguir recibiendo los servicios que estos ecosistemas nos proveen (ej. purificación de agua, protección contra inundaciones, tormentas y erosión; recreación, recursos con potencial farmacéutico, etc.). Algunos de los errores de manejo más frecuentes se enlistan en el Cuadro 4.

Las costas de México son cada vez más visitadas y habitadas, por lo que el impacto de las actividades humanas va en aumento. Esto hace que la restauración y mejor manejo de las playas y dunas sean cada vez más necesarios. Es un hecho que restaurar y manejar las dunas es difícil debido a la complejidad de los sistemas naturales. Sin embargo, podemos incrementar nuestras probabilidades de éxito si se toman decisiones con base científica y que al mismo tiempo sean socialmente aceptadas (SEMARNAT, 2013).

▼ Cuadro 4.  
Consecuencias de acciones de manejo deficiente y eficiente de las dunas costeras.

Manejo deficiente	Consecuencia	Manejo eficiente	Consecuencias
Construir estructuras temporales y fijas sobre el sistema playa-duna	Interrumpe dinámica sedimentaria y origina erosión	Construir atrás del sistema de dunas	Protección de infraestructura humana contra fenómenos naturales como marejadas o huracanes
Abrir brechas sobre las dunas para llegar a la playa	Interrumpe dinámica sedimentaria y remueve vegetación lo que desestabiliza a la duna	Estacionar vehículos detrás del sistema dunar y construir pasarelas elevadas para llegar hasta la playa	Conservación de la estructura del sistema dunar. Además de los servicios ambientales de protección, provee belleza escénica y lugar de anidamiento para especies como aves migratorias y tortugas marinas
Tránsito desordenado de peatones, vehículos y ganado	Daña vegetación y afecta la estabilidad del sistema	Construir pasarelas para los visitantes	Conserva la estructura del sistema dunar evitando el pisoteo de la vegetación, los visitantes tienen una mejor vista y apreciación del sitio
Construcción de espigones y escolleras	Afecta a la dinámica sedimentaria y causa erosión en zonas aledañas	Uso de otras técnicas suaves para la protección de la costa como son la construcción de arrecifes artificiales o de geo-tubos. En el sistema dunar, conservar vegetación nativa en buen estado y movilidad de dunas	Playas y dunas móviles capaces de auto-mantenerse
Establecimiento de plantaciones y especies exóticas sobre dunas móviles y semi-móviles	Limita la protección contra marejadas, afecta a la diversidad de especies, favorece la invasión de especies exóticas	Eliminar plantaciones y en casos donde sea necesaria la revegetación, utilizar especies nativas	Protección de la infraestructura contra fenómenos meteorológicos y del enterramiento por arena
Extracción de arena	Destruye la estructura de la duna	Buscar otras fuentes de arena	Sistema dunar capaz de auto-mantenerse
Descarga de drenaje sobre la playa	Origina canales que dan lugar a erosión y contamina la arena y el manto freático, produce enfermedades en los habitantes y los visitantes	Entubar agua y llevar a planta de tratamiento para su posterior utilización	Sistema dunar capaz de auto-mantenerse

## Referencias bibliográficas

- Barbour, M. G., y Robichaux, R. H. 1976. Beach phytomass along the California coast. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*. 103: 16-20.
- Bird, E.C. 1996. Beach management. John Wiley & Sons. Nueva York 281 pp.
- Bravo-Aviña, V. y Escoto-Rodríguez, M. 2012. Germinación de *Abronia maritima* en laboratorio, así como su fecundidad en dunas de la Bahía de Todos Santos, Baja California, México. En: *X Simposio Binacional de Botánica de Baja California*. 13 y 14 de Diciembre, Ensenada, Baja California.
- Castillo, S. y Moreno-Casasola, P. 1996. Sand dune vegetation: an extreme case of species invasion. *Journal of Coastal Conservation* 2: 13-22.
- de Jong, T. M. 1979. Water and salinity relations of Californian beach species. *Journal of Ecology* 67: 647-663.
- Grafals-Soto, R. 2010. Understanding the effects of sand fence usage and the resulting landscape, landforms and vegetation patterns: a New Jersey example. Tesis de Doctorado, Rutgers University-Graduate School-New Brunswick, USA.
- Grafals-Soto, R., y Nordstrom, K. 2009. Sand fences in the coastal zone: intended and unintended effects. *Environmental Management* 44(3): 420-429.
- Hesp, P.A. y Martínez, M.L. 2008. Transverse dune trailing ridges and vegetation succession. *Geomorphology* 99: 205-213.
- Johnson, A. F. 1979. Some aspects of the autecology of *Abronia maritima* Nutt. ex Wats. Tesis de Doctorado, University of California, Davis, USA.
- Ley-Vega, J., Gallego-Fernández, J.B. y Vidal, C. 2007. Manual de restauración de dunas costeras. Editorial. Ministerio del Medio Ambiente. Dirección General de Costas. España.
- Lithgow, D., Martínez, M.L., Gallego-Fernández, J.B. 2013a. Multicriteria Analysis to implement actions leading to coastal dune restoration. In: Martínez, M.L., Gallego-Fernández, J.B. and Hesp, P.A. (eds) *Coastal dune restoration*. Springer Series on Environmental Management, Chapter 19, pp. 307-321.
- Lithgow, D., Martínez, M.L., Hesp, P.A., Gallego-Fernández, J.B., Álvarez-Molina, L.L., Gachuz, S., Jiménez-Orocio, O., Rodríguez-Revelo, N. 2013b. Linking restoration ecology with coastal dune restoration. *Geomorphology*. 199: 214-224.
- Lonard, R. I., y Judd, F. W. 1997. The biological flora of coastal dunes and wetlands. *Sesuvium portulacastrum* (L.) L. *Journal of Coastal Research*. 96-104
- López-Portillo, J., Martínez, M.L., Hesp, P.A., Santana, J.R.H., Vásquez-Reyes, V.M., Aguilar, L.R.G., Linares, A.P.M. Jiménez-Orocio, O. y Gachuz, S. 2011. Atlas de las costas de Veracruz: manglares y dunas. Gobierno del Estado de Veracruz, Secretaría de Educación de Veracruz.
- Manifestación de Impacto Ambiental 23QR2004T0046. 2004. Restauración ambiental de playas entre Punta Cancún y Punta Nizuc. SEDETUR, Municipio de Benito Juárez, Quintana Roo.
- Martínez, M.L. 2003. Facilitation of seedling establishment by an endemic shrub in tropical coastal sand dunes. *Plant Ecology* 168(2): 333-345
- Martínez, M.L. y Moreno-Casasola, P. 1996. Effects of burial by sand on seedling growth and survival in six tropical sand dune species. *Journal of Coastal Research* 12 (2): 406-419.
- Martínez, M.L., Pérez-Maqueo, O. y Vásquez, V. 2004. Facilitative interactions on coastal dunes in response to seasonal weather fluctuations and benefactor size. *Ecoscience* 11(4): 390-398.
- Martínez, M.L., Valverde, T. and P. Moreno Casasola. 1992. Germination responses to temperature, salinity, light and depth of sowing of ten tropical dune species. *Oecologia* 92: 343-353
- Martínez, M.L., Vázquez, G., White, D., Thivet, G. and Brengues, M. 2002. Effects of burial by sand and inundation by fresh and sea-water on seed germination of five tropical beach species. *Canadian Journal of Botany* 80: 416-424.
- Martocchia, H. 2010. Recuperación de las playas de Cancún. La Jornada. Miércoles 10 de febrero. p. 32
- Maun, M.A. 1998. Adaptations of plants to burial in coastal sand dunes. *Canadian Journal of Botany* 76:713-738.
- McKann, M. H., McAtee, J., Campbell, J., Seidensticker, E., Quay, R., Stafford, C. y Taylor, J. 2005. The Dune Protection and Improvement Manual. Austin, Texas: Texas General Land Office. Resource Management and Development, 32p
- Moreno-Casasola, P., Grime, J.P. y Martínez, M.L. 1994. A comparative study of the effects of fluctuations in temperature and moisture supply on hard coat dormancy in seeds of coastal tropical legumes. *Journal of Tropical Ecology* 10: 67-86
- Moreno-Casasola, P., Martínez, M.L. y Castillo-Campos, G. 2008. Designing ecosystems in degraded tropical coastal dunes. *Ecoscience*. 15(1): 44-52.
- Moreno-Casasola, P., Martínez, M.L., Castillo-Campos, G. y Campos, A. 2013. The impacts on natural vegetation following the establishment of exotic *Casuarina* plantations In: Martínez, M.L., Gallego-Fernández, J.B. and Hesp, P.A. (eds) *Coastal dune restoration*. Springer Verlag, Capítulo 14. 217-233.
- Muñoz-Reinoso, J.C., Saavedra-Azqueta, C., Redondo-Morales, I., 2013. Restoration of Andalusian coastal juniper woodlands. In: Martínez, M.L., Gallego-Fernández, J.B., Hesp, P.A. (Eds.), *Restoration of Coastal Dunes*. Springer Verlag, Germany, pp. 145-158 (Chapter 9).
- NSW Department of Land and Water Conservation. 2001. Coastal Dune Management: A Manual of Coastal Dune Management and Rehabilitation Techniques, Coastal Unit, DLWC, Newcastle.
- O'Connell, J. 2008. Coastal Dune Protection & Restoration, Using 'Cape' American Beach Grass and Fencing. Woods Hole Sea Grant Program and Barnstable County's Cape Cod Cooperative Extension
- Ortega L. Normas de reacción como respuesta ante el enterramiento de plantas de dunas costeras de México. Tesis de Licenciatura, Universidad Veracruzana (en proceso).
- Pedroza, D., Cid, A., García, O., Silva-Casarín, R., Villatoro, M., Delgado, M.A., Mendoza, E., Espejel, I., Moreno-Casasola, P., Martínez, M.L. y Infante Mata, D. 2013. Manejo de Ecosistemas de Dunas Costeras, Criterios Ecológicos y Estrategias. México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Dirección de Política Ambiental e Integración Regional y Sectorial. Recuperado el 21 de julio de 2013, CD001496. ISBN: 978-607-8246-59-5. [http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium-bin/janium\\_login\\_opac.pl?find&ficha\\_no=225712](http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium-bin/janium_login_opac.pl?find&ficha_no=225712)
- Pérez-Maqueo, O., Martínez, M.L., Lithgow, D., Mendoza-González, G., Feagin, R.A. y Gallego-Fernández, J.B. 2013. The coasts and their costs. In: Martínez, M.L., Gallego-Fernández, J.B. and Hesp, P.A. (eds) *Coastal dune restoration*. Springer Series on Environmental Management, Chapter 18, 289-304.
- Pickart, A. J. 1997. Control of European beachgrass (*Ammophila arenaria*) on the west coast of the United States. In: Symposium of the California Exotic Pest Plant Council. (The Nature Conservancy Lanphere-Christensen Dunes Preserve: Arcata, CA).
- Pickart, A. J., y Sawyer, J. O. 1998. Ecology and restoration of northern California coastal dunes. *California Native Plant Society*.
- Pickart, A. J., Miller, L. M., y Duebendorfer, T. E. 1998a. Yellow bush lupine invasion in Northern California coastal dunes I. Ecological impacts and manual restoration techniques. *Restoration Ecology* 6(1): 59-68.
- Pickart, A. J., Theiss, K. C., Stauffer, H. B., y Olsen, G. T. 1998b. Yellow Bush Lupine Invasion in Northern California Coastal Dunes II. Mechanical Restoration Techniques. *Restoration Ecology* 6(1): 69-74.
- Sánchez, O. 2005. Restauración ecológica: algunos conceptos, postulados y debates al inicio del siglo XXI. En: Sánchez, O., Peters, E., Márquez, R., Vega, E., Portales, G., Valdez, M. y Azuara, D. (Eds.) *Temas sobre la Restauración Ecológica*. Instituto Nacional de Ecología, U.S. Wildlife Services y Unidos para la Conservación A.C. México. pp. 15-30.
- Sánchez, R. 1996. Germinación y establecimiento de *Abronia maritima* en dunas de Punta Banda, B.C. Tesis de Maestría en Manejo de Ecosistemas de Zonas Áridas. Diciembre. Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma de Baja California.
- SER (Society of Ecological Restoration). 2004. Principios de SER Internacional sobre restauración ecológica. Disponible en: [www.ser.org/content/guidelines\\_ecological\\_restoration.asp](http://www.ser.org/content/guidelines_ecological_restoration.asp)
- Walmsley, C. A., y Davy, A. J. 1997. Germination characteristics of shingle beach species, effects of seed ageing and their implications for vegetation restoration. *Journal of Applied Ecology* 34: 131-142.
- Williams, M.J. 2007. Native Plants for Coastal Restoration: What, When, and How for Florida. USDA, NRCS, Brooksville Plant Materials Center, Brooksville, FL. 51p. (<http://www.fl.nrcs.usda.gov/programs/pmc/flplantmaterials.html>)
- Zedler, J. B. 1988. Salt marsh restoration: Lessons from California. *Rehabilitating damaged ecosystems* 1: 123-138.